

新生児・乳児の自発運動の3次元運動解析

3D Motion Analysis of Spontaneous Movements of Newborn and Young Infants

多賀蔵太郎^{1,2}、立花達史¹、高谷理恵子³、竹内恵子⁴、小西行郎⁵

Gentaro TAGA¹, Tomohiro IKEJIRI¹, Tatsushi TACHIBANA¹, Keiko TAKEUCHI² and Yukuo KONISHI³

¹東京大学大学院総合文化研究科、²JST さきがけ 2 1、

³福島大学教育学部、⁴福井大学教育地域科学部、⁵埼玉医科大学小児科

¹Department of Pure and Applied Sciences, University of Tokyo, ²PREST, JST,

³Fukushima University, ⁴Fukui University and ⁵Saitama Medical School

Abstract: We report our new study of 3D motion analysis of spontaneous movements of young infants. 14 reflective markers were attached to the infant body and movements were recorded by 4 cameras. We present longitudinal data of an infant whose spontaneous movements were measured every month from 1 to 4 months of age.

1. はじめに

新生児や生後4～6ヶ月までの乳児は、仰向けの姿勢で General Movement (GM) と呼ばれる自発運動を行う。GM は何も外的刺激のないときにでも数秒から数十分にわたって連続して生じる運動である。したがって、GM は古典的な反射では説明することができない運動である。また、GM はリーチングなどの明らかな随意的な運動が発達する以前の段階で見られることから、運動の発達にとって何らかの機能的役割を果たしている可能性がある。

Prechtl らは、GM が複雑さと流暢さで特徴づけられることや、GM のパターンが2ヶ月ごろ変化することなどの観察結果を初めて報告した[1,2]。さらに、訓練された医師が GM のパターンを見るだけで脳性麻痺など予測が可能であることなども報告している[3]。

多賀らは、GM をビデオに記録し、手先と足先の運動軌跡の2次元平面への射影を計測した。そして、力学系の位相空間上での運動の決定性を調べたところ、GM が線形相関を持ったノイズではなく、非線形の決定論的なダイナミクスに従っていることを示した。また、脳性麻痺の児の GM が周期性の強い単純な運動になっていることなども示した[4]。

ここでは、GM をさらに定量的に計測することを目指した3次元運動計測の試みを報告する。生後数カ月以内の新生児や乳児の全身の自発運動の3次元計測は、著者らの知る限りこれまで例がない。その手法の確立と予備的な結果について報告する。

2. 方法

計測には、モーションアナリシス社製の3次元動作解析システムを用いた。その仕様について簡単に述べる。図1のように4台のカメラ(60Hz、ノンインターレース)を用いた。それぞれのカメラには、赤色光のLED ストロボとフィルターがついており、被験児の身体上に付着した球形の反射マーカに反射した光だけを撮影することができる。計測前に、立方体のキャリブレーションフレームをおいて、3次元での基準座標を決定する。4台のカメラからの画像は、それぞれVTRで記録する。ただし、同期をとるために、同期信号発生器からの信号を一定時間ごとに音声トラックに入力する。撮影後に、ビデオテープの任意の場所から解析をする部分を選び、ビデオボードによりデジタイズを行いマーカ位置を抽出する。そして、4台のカメラのマーカ位置のデータから、それぞれのマーカの3次元座標を計算する。

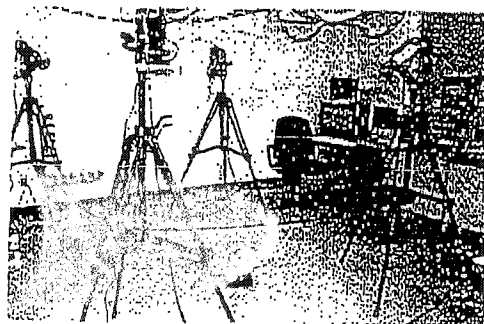


Fig1. 3D motion analysis system.

直径1cmの反射マーカ―を、筋電図などのディスポ電極に使われているソリッドゲルを用いて皮膚に貼った。計測前に被験児の服を脱がせて、計14個の反射マーカ―を図2のような位置に貼った。計測は15分間を目安とした。被験児が覚醒していて機嫌良く動いているときだけ計測を行った。

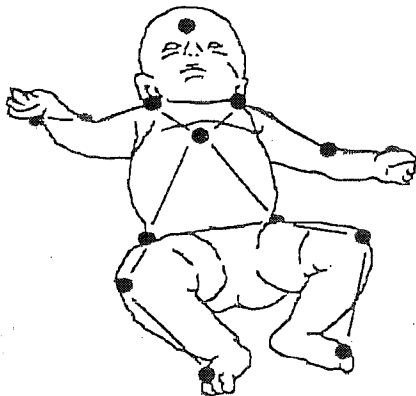


Fig. 2 Positions of reflective markers.

計測後に3次元動作解析のソフトウェアを用いて、14個のマーカ―の3次元座標の同定を行った。あるカメラから見た場合、しばしばいくつかのマーカ―が隠れてしまうことは避けられなかった。このため、マーカ―の自動追尾ができなくなり、マーカ―の帰属をかなり手動で行う必要があった。少なくとも2台のカメラにマーカ―が映っていれば、3次元座標を決定することができるが、それも不可能になることが時々あった。この場合は、マーカ―の座標値が欠損してしまった。ただし、欠損の時間が十分に短い時に限って座標値の補間を行った。

3. 結果

被験児1名について、生後1、2、3、4ヶ月のデータが得られた。それぞれ、15分程度の計測を行い、少なくとも連続した2分間のGMの運動軌跡を得ることができた。

3.1. 運動軌跡の発達にともなう変化

図3に、14個のマーカ―のうち、左右の手先及び足先だけの座標の軌跡を示した。一見して目立つ特徴は、生後3～4ヶ月からは、Z軸方向すなわち重力方向に手先や足先を伸ばすような運動パターンが増えていくことである。

これらの軌跡のパターンの複雑さを定量化するための一つの方法は、著者らが2次元のGMの運動解析で行った非線形予測法の解析である[4]。ここで示したデータの量はその解析を行うにはまだ十分でないため、現在、被験者数とデータ数を増やしている。

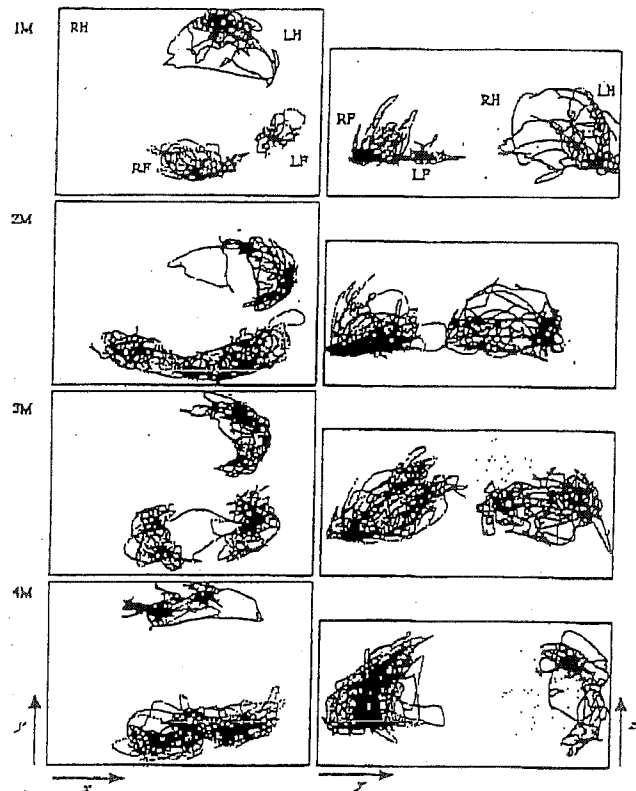


Fig. 3 3D trajectories of General Movements (GM) of an infant from 1 to 4 months of age.

3.2. 運動軌跡の“1/3乗則”

成人の手先の運動に関しては、運動軌跡の接線方向の速度 V と曲率半径 R との間に

$$V(t) = kR(t)^{1/3}$$

のような法則が成り立っていることが長く知られている[5]。つまり、カーブのきつい運動はゆっくりと、直線的な運動は素早く行われる。この法則と脳神経系による運動軌跡の計画との関係が議論されてきた。そこで、GMの手先および足先の運動軌跡に関して、こうした法則が成り立っているかどうかを調べた。

図4は、上記と同じ被験児の右手の3次元座標から、接線方向の速度と曲率半径を求め、両対数プロットし

たものである。全体の傾向としては、生後1ヶ月から4ヶ月にいたるまで、右上がりの傾きを持っていることがわかる。つまり、新生児から乗乗則がおおまかに成立してしている。このことは、乗乗則が脳神経系による運動軌跡の計画の結果として生じているというよりは、神経筋骨格系のダイナミクスの一般的な性質に由来することを示唆する。

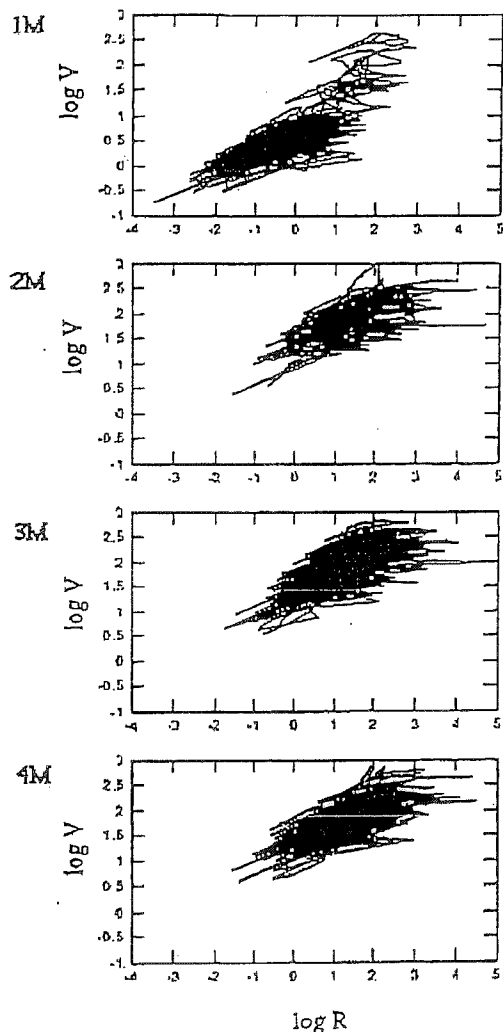


Fig. 4 Tangential velocity (V) versus radius of curvature (R) of spontaneous movements of right hand of an infant. Longitudinal change from 1 to 4 months of age are presented.

3.3. 関節角度の計測

14個のマーカの配置から、肩関節3自由度、肘関節1自由度、股関節3自由度、膝関節1自由度の関節角度を得ることができる。図5はそれらのうちから、左右の肘関節と膝関節の角度変位を示している。マーカの隠れによって、データの欠損がところどころできてしまう。今後、被験者数、データ数を増やし、このような関節角度空間での運動パターンの発達にともなう変化を調べる予定である。

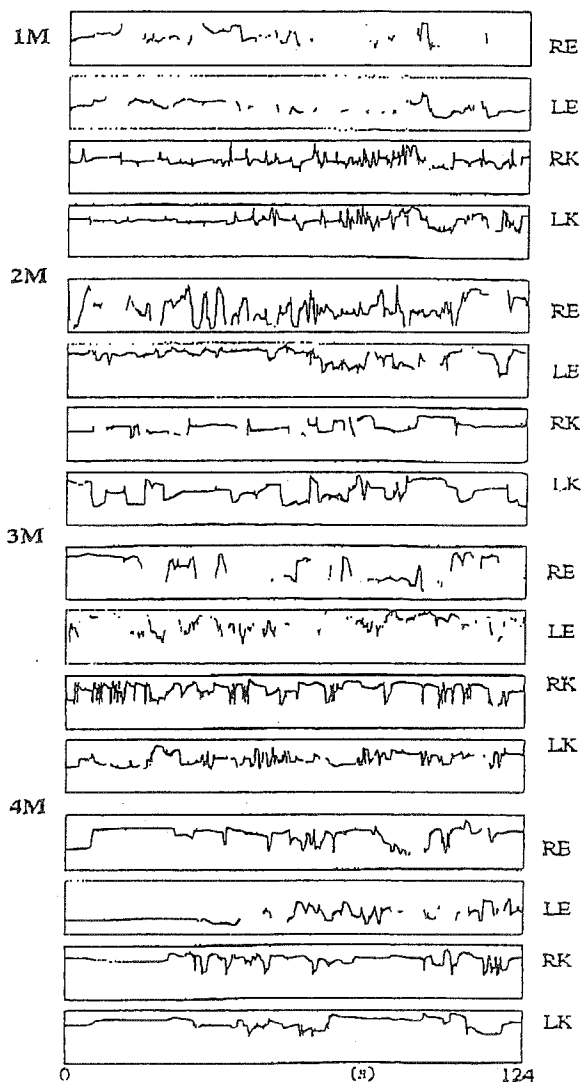


Fig. 5 Angular displacements of right elbow(RE), left elbow (LE), right knee (RK) and left knee(LK) during general movement (GM). Longitudinal change from 1 to 4 months of age are presented.

4. まとめと考察

新生児・乳児の自発運動に関する全身の運動軌跡を3次元で計測する試みについて報告した。全身につけた14点のマーカーの位置の軌跡をほぼ追跡できることがわかった。ただし、現在の4台のカメラでは、完全にはマーカーの隠れによるデータの欠損を防ぐことができなかった。現在のマーカーの配置では手首関節や足関節の変位を得ることはできない。しかし、被験児の負担や3次元動作解析システムの能力を踏まえると、全身運動の計測としては14点程度のマーカーが適切だと考えられる。

うまく得られた軌跡や関節角度からは、様々な運動パターンの評価が考えられる。非線形予測法による運動パターンの複雑さの定量化や、運動軌跡の接線方向の速度と曲率半径との間の果乗則の検証など、今後多くの課題がある。そして、このような新生児や乳児の運動発達の研究は、運動制御に関する新しい考え方を提供するものと期待される。

謝辞

本研究の一部は、未来開拓プロジェクト「生命情報」の援助を受けた。

参考文献

- [1] Prechtl HFR, Hopkins B (1986) Developmental transformations of spontaneous movements in early infancy. *Early Hum Dev* 14: 233-238
- [2] Hadders-Algra M, Prechtl HFR (1992) Developmental course of general movements in early infancy. I. Descriptive analysis of change in form. *Early Hum Dev* 28: 201-213
- [3] Prechtl HFR, Einspieler C, Cioni G, Bos AF, Ferrari F, Sonthimer D (1997) An early marker for neurological deficits after perinatal brain lesions. *Lancet* 349, 1361-1363
- [4] Taga G, Takaya R, Konishi Y (1999) Analysis of general movements of infants towards understanding of developmental principle for motor control. *Proc. IEEE SMC*, V678-683
- [5] Lacquaniti F (1989) Central representations of human limb movement as revealed by studies of drawing and handwriting. *Trends in Neurosci.* 12, 287-291

BPES 2000
第 15 回
生体・生理工学シンポジウム
論文集

2000 年 10 月 13 日発行

編集者 社団法人 計測自動制御学会 生体・生理工学部会

発行者 〒113-0033 東京都文京区本郷 1-35-28-303

TEL (03)3814-4121, FAX (03)3814-4699

E-mail : bukai@sice.or.jp

第 15 回生体・生理工学シンポジウム実行委員会

事務局 〒466-0061 名古屋市昭和区御器所町
名古屋工業大学工学部知能システム学科

本誌は環境保全のため再生紙を使用しています。

Collected Papers from BPES 2000, 15th Biological and Physiological Engineering Symposium

3D Motion Analysis of Spontaneous Movements of Newborn and Young Infants

Gentaro TAGA^{1,3}, Tomohiro IKEJIRI¹, Tatsushi TACHIBANA³, Keiko TAKEUCHI⁴ and Yukuo KONISHI⁵

¹Department of Pure and Applied Sciences, University of Tokyo, ²PREST, JST, ³Fukushima University, ⁴Fukui University and ⁵Saitama Medical School

Abstract: We report our new study of 3D motion analysis of spontaneous movements of young infants. 14 reflective markers were attached to the infant body and movements were recorded by 4 cameras. We present longitudinal data of an infant whose spontaneous movements were measured every month from 1 to 4 months of age.

1. Introduction

Newborns and young infants from 4 to 6 months of age make spontaneous movements called General Movements (GM) while lying on their backs. GM is a movement continuing for several seconds to several ten minutes even without any external stimuli. Therefore, classical reflection cannot account for GM. Being observed at a stage prior to the development of obviously voluntary movement such as reaching, GM possibly plays some functional role in development of movement.

Prechtl et al. reported for the first time observation results that GM is characterized by its complexity and smoothness and that the pattern of GM changes at about 2 months of age [1,2]. They also reported that a trained doctor could predict cerebral palsy and the like only by seeing the pattern of GM [3].

Taga et al. recorded GM in a video tape to measure projections of trajectories of movements of hand tips and foot tips onto a two-dimensional plane. Then, as a result of study on determinacy of the movements on a phase space of a dynamical system, it was found out that GM is not noise having linear correlativity but follows nonlinear deterministic dynamics. The result also showed that GM of an infant with cerebral palsy is a simple movement with a high cyclic characteristic [4].

Here, an attempt of 3D motion measurement will be reported, aiming at more quantitative measurement of GM. As far as the authors know, there has been no precedent for 3D measurement of spontaneous movements of the whole body of newborns and young infants within several months of age. The establishment and preliminary result of

the method will be reported.

1. Method

A 3D motion analysis system manufactured by Motion Analysis Inc. was used for the measurement. Its specifications will be described briefly. Four cameras (60 Hz, noninterlaced) were used as shown in FIG. 1. Each of the cameras has a red LED strobe and a filter and is capable of photographing only light reflected on spherical reflective markers attached to the body of a subject infant. Prior to the measurement, 3D reference coordinates are determined in a cubic calibration frame. Images from the four cameras are recorded by VTRs. For synchronization, a signal from a synchronizing signal generator is inputted to audio tracks at predetermined time intervals. After the photographing, a part to be analyzed is selected from an arbitrary place of the video tape, and it is digitized by a video board, and the position of the marker is extracted. Then, based on data on the positions of the marker by the respective four cameras, respective 3D coordinates of the marker are calculated.

The reflective markers with 1cm diameter were affixed on the skin using solid gel in use for a disposal electrode for electromyogram and the like. Prior to the measurement, the subject infant was undressed, and totally 14 reflective markers were affixed at positions as shown in FIG. 2. The time for the measurement was roughly 15 minutes. The measurement was conducted only when the subject infant was awake and was moving in a good humor.

After the measurement, the 3D coordinates of the 14 markers were determined by using software for 3D motion analysis. It could not be avoided that some of the markers were often hidden when seen from a certain camera. Consequently, automatic tracking of the markers was not possible, so that manual tracking of the markers was often required. If at least two cameras captured an image of the marker, its 3D coordinates can be determined but this was not sometimes possible. In this case, a coordinate value of the marker was lacked. Note that the coordinate value was interpolated only when the time of the lack was sufficiently short.

3. Result

For one subject infant, data on 1, 2, 3, and 4 months of age were obtained. For each, about 15-minute measurement was conducted, and the movement trajectories of GM for at least continuous two minutes were obtained.

3.1. Developmental change of the movement trajectories

FIG. 3 shows trajectories of the coordinate values of only the markers attached to

right and left hand tips and right and left foot tips out of the 14 markers. A characteristic noticeable at a glance is that a movement pattern of stretch of the hand tips and the foot tips in the Z-axis direct, that is, the gravity direction increases after 3 to 4 months of age.

One method to quantify complexity of the patterns of these trajectories is an analysis by a nonlinear prediction method [4] which was adopted by the authors in the 2D movement analysis of GM. Since a data volume shown here is not large enough to enable the analysis, the number of subjects and the number of data are currently being increased.

3.2. "1/3 power rule" of the movement trajectories

As for the movements of hand tips of adults, it is well known that the following rule holds between tangential velocity V and radius of curvature R of the movement trajectories [5].

$$V(t) = kR(t)^{1/3}$$

That is, a sharp-curved movement is performed slowly, while a linear movement is performed quickly. The relation of this rule and a plan of the movement trajectory by a cranial nerve system has been discussed. So, it was studied if this rule holds regarding the movement trajectories of the hand tips and the foot tips in GM.

FIG. 4 shows the results of logarithmical plotting of tangential velocity and radius of curvature which were found from 3D coordinates of right hand of the same subject infant as above. As the overall tendency, a right-side upward inclination is observed from 1 month to 4 month of age. That is, the power rule roughly holds from a newborn stage. This fact suggests that the power rule originates from a general property of dynamics of a neuromuscular skeletal system rather than from the plan of the movement trajectories by the cranial nerve system.

3.3 Measurement of joint angles

From the arrangement of the 14 markers, it is possible to obtain joint angles of shoulder joints as 3 degrees of freedom, elbow joints as 1 degree of freedom, hip joints as 3 degrees of freedom, and knee joints as 1 degree of freedom. FIG. 5 shows angular displacements of right and left elbow joints and right and left knee joints among them. In some part, there are lacks of data because the markers are hidden. In future, we intend to increase the number of subjects and the number of data to study developmental changes of the movement pattern in such a joint angular space.

4. Summary and discussion

The attempt to three-dimensionally measure the movement trajectories of the whole body has been reported regarding the spontaneous movements of newborns and

young infants. It has been found out that the trajectories of the positions of the 14 markers attached to the body can be tracked almost completely. However, with the four cameras currently used, the lack in data due to the hiding of the markers could not be completely avoided. With the current arrangement of the markers, the displacements of the wrist joints and leg joints cannot be obtained. However, considering load to a subject infant and performance of the 3D motion analysis system, it is considered appropriate to use about 14 markers for measuring the movements of the whole body.

Evaluation on various movement patterns is conceivable from successfully obtained trajectories and joint angles. There still remain many problems to be solved in future, such as the quantification of complexity of the movement patterns by the nonlinear prediction method, the verification of the power rule between the tangential velocity and radius of curvature of the movement trajectories, and so on. Such research on the movement development of newborns and young infants has a prospect to provide a new idea regarding movement control.

Acknowledgment

Part of this research was supported by "Bio-informatics", Mirai-Kaitaku Project.